

NOWE SPOJRZENIE NA KLASYFIKACJĘ TYPÓW CYRKULACJI ATMOSFERY J. LITYŃSKIEGO

Kinga Kulesza

New look on the classification of atmospheric circulation types by J. Lityński

Abstract: There are many classifications of atmospheric circulation types. In Poland, the most important one, used in climatological studies, is the classification of circulation types developed by Lityński. This study aims to compare the results of two variations of this classification: the “old” one – based on the NCEP/NCAR reanalysis data and on the original limits of the classes (of indicators W_s , W_p and C_p) proposed by the author of the original classification and the “new” one – which also calculates the limits of the classes on the basis of NCEP/NCAR reanalysis material, but with increasingly longer periods each year. In the period 1971–2015 more than 21% of the results of the “new” classification were different from the “old” one. The differences in the frequency of each class (in relation to individual circulation indicators) in the “old” classification were much higher than in the “new” one. Consequently, the use of “new” limits of the classes causes that in the circulation types catalog the division of the distribution of the W_s , W_p and C_p indicators into three classes is more similar to the one of equal-probability. In the second part of the paper, a modification of the “new” classification is proposed. The “new modified” classification, takes into account only the 30 last years while calculating the limits of the classes. Shortening the period based on which the limits of the classes are calculated one can capture long-term variations in the values of individual circulation indicators, and thus the division of their distributions into three classes is even closer to the equal-probability one.

Keywords: circulation types classification, atmospheric circulation, Lityński

Zarys treści: Na świecie istnieje wiele klasyfikacji typów cyrkulacji atmosfery. W Polsce jednym z ważniejszych opracowań wykorzystywanych w badaniach klimatologicznych jest

klasyfikacja typów cyrkulacji atmosfery Lityńskiego. W opracowaniu porównano wyniki dwóch wariantów tej klasyfikacji: „starej” klasyfikacji – opartej na danych z reanaliz NCEP/NCAR oraz na oryginalnych granicach klas (wskaźników W_s , W_p i C_p) zaproponowanych przez autora pierwotnej klasyfikacji oraz „nowej” – również opartej na danych z reanaliz NCEP/NCAR, ale obliczającej granice klas w każdym roku na podstawie coraz dłuższego ciągu danych. W latach 1971–2015 w ponad 21% przypadków „nowa” klasyfikacja różniła się od „starej”, a różnice częstości występowania każdej klasy (w odniesieniu do poszczególnych wskaźników cyrkulacji) w „starej” klasyfikacji były dużo większe niż w „nowej”. Zastosowanie „nowych” granic klas powoduje zatem, że w wytworzonym katalogu typów cyrkulacji podział rozkładu wskaźników W_s , W_p i C_p jest bardziej zbliżony do równoprawdopodobnego. W drugiej części pracy zaproponowano także modyfikację „nowej” klasyfikacji – klasyfikację „nową zmodyfikowaną”, uwzględniającą przy obliczaniu granic klas tylko 30 ostatnich lat. Skracając okres, na podstawie którego są obliczane granice klas, można wychwycić długookresowe zmiany wartości poszczególnych wskaźników cyrkulacyjnych, a dzięki temu podział ich rozkładów na trzy klasy jest jeszcze bardziej zbliżony do równoprawdopodobnego.

Słowa kluczowe: klasyfikacja typów cyrkulacji, cyrkulacja atmosferyczna, Lityński

Wprowadzenie

Istnieje wiele różnorodnych klasyfikacji typów cyrkulacji atmosfery, z których jedne są bardziej rozpowszechnione, a inne mniej. W Europie jedną z najbardziej znanych klasyfikacji jest Grosswetterlagen, początkowo opracowana przez Hessa i Brezowsky'ego (1969), a obecnie prowadzona i udostępniana przez niemieckie służby pogody (Gerstengarbe i in. 1999; Gerstengarbe, Werner 2005). Podejmowane są również próby opracowania uniwersalnej metody klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej w Europie, a także działania mające na celu systematyzację istniejących klasyfikacji cyrkulacji – zestawienie najważniejszych europejskich klasyfikacji znajduje się w raporcie COST733 (Philipp i in. 2010). W Polsce opracowano kilka różnorodnych klasyfikacji, z których niektóre oparte są na subiektywnym porównywaniu układów barycznych nad Europą z pewnymi układami wzorcowymi (Niedźwiedz 1981; Osuchowska-Klein 1991), inne z kolei dokonują podziału typów cyrkulacji atmosfery w sposób liczbowy. Nie są to klasyfikacje obiektywne (o takich nie może być mowy, bo słowo „klasyfikacja” wywodzi się z łacińskiego „czynić oddziały”, a więc zakłada subiektywność podziału), ale ich zaletą jest niezależność od indywidualnych doświadczeń obserwatora, dzięki czemu każdy badacz dysponujący takimi samymi danymi uzyska jednakowe wyniki. Tego rodzaju klasyfikacje w Polsce opracowywało wielu badaczy, m.in. Lityński (1968, 1969), Ustrnul (1997), Piotrowski (2009). Klasyfikacja typów cyrkulacji atmosferycznej Lityńskiego (1969) jest jednym z ważniejszych opracowań, wykorzystywanych w opracowaniach meteorologicznych i klimatologicznych w Polsce (Nowosad 2004; Żmudzka 2007; Ustrnul i in. 2010). W ciągu ostatniego półwiecza powstawały kolejne wersje tej klasyfikacji (Stępniew-

ska-Podrażka 1991; Pianko-Kluczyńska 2007; Nowosad 2017), wielu zaś późniejszych twórców klasyfikacji typów cyrkulacji atmosfery w Polsce wzorowało się na założeniach zaproponowanych przez Lityńskiego (Bartoszek 2017). Z tego powodu istotne wydaje się porównanie założeń poszczególnych wersji klasyfikacji Lityńskiego.

Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji dla Polski Lityńskiego została po raz pierwszy przedstawiona w jego pracy doktorskiej z 1968 r., a następnie w Pracach PIHM z 1969 r. Autor opisał tam główne założenia swojej metody – sposób konstrukcji wskaźnika strefowego W_s , południkowego W_p oraz wskaźnika ciśnienia w Polsce C_p . Zaproponował podział rozkładu każdego ze wskaźników na trzy równoprawdopodobne klasy. W rezultacie częstość występowania każdej klasy w ramach danego wskaźnika powinna wynosić 33,33%, a wszystkie możliwe kombinacje klas trzech wskaźników dają 27 typów cyrkulacji – 9 typów cyklonalnych, 9 nieokreślonych i 9 antycyklonalnych. Lityński zwrócił także uwagę na pewne nieuniknione wady systemu trójklasowego równoprawdopodobnego: „klasa środkowa (zerowa) nie jest symetryczna względem zera. W skrajnym przypadku, dla W_s w styczniu, cała klasa środkowa leży po stronie dodatniej, a zero jest wartością graniczną. Oznacza to, że każda, nawet niewielka, wartość ujemna W_s jest zaliczona do klasy E (wschodniej), natomiast niewielkie wartości dodatnie W_s są zaliczane do klasy zerowej, a dopiero większe do klasy W (zachodniej)” (Lityński 1968). Biorąc za podstawę okres 1900–1966, Lityński wyliczył i zaproponował granice tych trzech klas dla każdego wskaźnika oddzielnie. Niestety w pracy brak jest informacji o podstawowym okresie, w odniesieniu do którego obliczono granice między klasami wskaźników cyrkulacji. Nie wiadomo zatem, czy granice te były obliczane w odniesieniu do poszczególnych dni, całych miesięcy, czy jeszcze dłuższego okresu¹. Dodatkowo, oryginalny kalendarz typów cyrkulacji Lityńskiego został przygotowany na podstawie niejednorodnych danych wejściowych – amerykańskich, francuskich i polskich map synoptycznych (Lityński 1968). W tabeli 1 przedstawione są wyznaczone przez Lityńskiego (1968) typy cyrkulacji w styczniu i lipcu 1965 roku. Co zadziwiające, chociaż autor obliczał wartości wskaźników W_s , W_p i C_p w odniesieniu do każdego dnia, to jednak okresy występowania jednego typu cyrkulacji są stosunkowo długie (w kolejnych klasyfikacjach nierzadko typ cyrkulacji zmienia się z dnia na dzień). Być może przyczyną jest stwierdzenie autora, że „za typ cyrkulacji (...) uważa się okres co najmniej dwóch dni jednakowo zaklasyfikowanych” (Lityński 1968). Jednak również w tym przypadku podana przez autora ilość informacji jest zbyt skąpa, aby można było precyzyjnie odtworzyć jego metodę postępowania.

¹ Autorce nie udało się dotrzeć do „oryginalnych granic klas” ani zyskać pewności, że wyznaczone przez Lityńskiego granice były obliczane w odniesieniu do pojedynczych dni. W obecnie prowadzonym kalendarzu, wykorzystującym „oryginalne granice klas”, przyporządkowanie wartości wskaźników w kolejnych dniach listopada 2009 roku do poszczególnych klas (ryc. 1) sugeruje natomiast, że granice te musiały być obliczane dla każdego dnia osobno.

Tab. 1. Typy cyrkulacji atmosferycznej dla stycznia i lipca 1965 roku według różnych autorów
 Table 1. Atmospheric circulation types for January and July 1965 according to various authors

Dzień Day	Styczeń / January 1965				Lipiec / July 1965			
	Lityński (1968)	Sępiewska-Podraźka (1991)		Nowosad (2017)	Lityński (1968)	Sępiewska-Podraźka (1991)		Nowosad (2017)
		typ średni / average type	typ dobowy / daily type			typ dobowy daily type	typ średni average type	
1		SWC	WC	WC		NWC	NWC	NWC
2	WC	NC	NWC	NWC		NWC	NWC	NWC
3			NC	NC		NWC	NWC	NWC
4			NO	NO		NWC	NWC	NWC
5	NO		NO	NO		NWC	NWC	WC
6		NEO	NEO	NEO	NWC	NWC	NWC	NWC
7			NA	NO		WO	WC	WC
8		WC	WC	WC		WC	WC	WC
9	OC		NC	NC		NWC	NWC	WC
10		OC	OC	OC		NWC	NWC	WC
11			SA	SA		OA	NA	OA
12			SWO	SWO		OO	OO	OO
13			SWO	SWO		SO	OO	EO
14	SWA	SWA	SWO	SWO		OA	OA	OO
15			SWA	SWO		EA	NEA	EA
16			SWO	SWO		NEO	NEO	NEO
17			SWC	SWC		NEO	NEO	NEO
18	WC	SWC	SWC	SWC		NEA	NEO	NEO
19		OC	OC	OC		EA	EA	EA
20			SEC	SEC		SEA	SEA	SEA
21		SEC	SEC	SEC		SEC	SEC	SEC
22			SEC	SEC		SC	SEC	SEC
23			EO	EO		SC	SC	SC
24			EA	EA		SWC	SC	SC
25	SEO	SEO	EO	EO		OO	WC	WC
26			EO	EO		NWC	NWC	WC
27			SEO	SEO		NWC	NWC	NWC
28		S0	SEO	SEO		NWC	NWC	NWC
29			S0	SC		SWC	SWC	SWC
30		NO	NO	SC		SWC	SWC	SWC
31			NO	NO		WC	WC	WC

Kontynuatorem myśli Lityńskiego była Stępniewska-Podrażka, która w 1991 r. opublikowała *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej (1951–1990)*, do przygotowania którego wykorzystano „klasyfikację liczbową, równoprawdopodobną Lityńskiego” i katalog polskich i francuskich dolnych map synoptycznych z godz. 1200 UTC (Stępniewska-Podrażka 1991). Niestety w tej pracy również brakuje podstawowych informacji na temat sposobu określania granic klas wskaźników cyrkulacji, a wstępna analiza częstości występowania poszczególnych klas każdego ze wskaźników wskazuje na odstępstwa od podziału równoprawdopodobnego. W opracowaniu oprócz wyznaczonych typów dobowych autorka przedstawia także typy uśrednione, które były przygotowywane przy użyciu klasyfikacji liczbowej w połączeniu z subiektywną oceną sytuacji synoptycznej. Co ciekawe, to właśnie typy uśrednione najbardziej odpowiadają typom, które w swojej pracy wyznaczył Lityński (tab. 1). W późniejszych latach Pianko-Kluczyńska (2007) zaproponowała zmianę materiału wyjściowego, służącego do przygotowywania typów cyrkulacji – w miejsce dolnych map synoptycznych zaczęto używać danych z reanalizy NCEP/NCAR (Kalnay i in. 1996). Taka zmiana wymusiła konieczność porównania dwóch katalogów typów – starego, opartego na mapach synoptycznych, i nowego, przygotowywanego na podstawie reanaliz. Różnice między katalogami okazały się niewielkie (Pianko-Kluczyńska 2007). Pianko-Kluczyńska (2007) zaproponowała także zmianę algorytmu wyliczania granic klas wskaźników cyrkulacji (opis tego algorytmu przedstawiony jest szczegółowo w podrozdziale Materiały i metody). Katalog typów cyrkulacji z lat 1948–2003, przygotowany na podstawie danych z reanaliz NCEP/NCAR, ze zmienionymi granicami klas porównała ze „starym” katalogiem – przygotowanym z tego samego okresu, na podstawie map synoptycznych i z oryginalnymi granicami klas, zaproponowanymi przez Lityńskiego. W rezultacie autorka uznała, że nie należy zmieniać granic, bo ich aktualizacja wpłynęłaby niekorzystnie na zgodność obu katalogów typów. Obecnie kalendarz typów cyrkulacji Lityńskiego (obejmujący okres od 1948 r.) jest prowadzony w IMGW na podstawie reanaliz NCEP/NCAR i oryginalnych granic klas i udostępniany na życzenie każdemu zainteresowanemu (Pianko-Kluczyńska 2007). Jego wartości w odniesieniu do stycznia i lipca 1965 r. przedstawione są w tab. 1. Kalendarz typów cyrkulacji Lityńskiego prowadzi także Nowosad (2017) (tab. 1). W tym katalogu podział rozkładu wskaźników cyrkulacji na 3 równoprawdopodobne klasy został dokonany na podstawie wielolecia 1951–1990 (dla każdego miesiąca osobno). Korzystając z tak przygotowanych granic klas, autor przygotowuje na bieżąco typy cyrkulacji atmosferycznej.

Ponieważ cyrkulacja atmosferyczna ulega w długim okresie różnorodnym zmianom, dalsze prowadzenie kalendarza typów cyrkulacji przy wykorzystaniu oryginalnych granic klas zaproponowanych przez Lityńskiego w 1968 r. wydaje się niekonieczne, a nawet, w przypadku najbardziej współczesnych okresów, niewłaściwe. Dlatego w niniejszym opracowaniu podjęto próbę porównania wyników obecnie prowadzonej

w IMGW klasyfikacji typów cyrkulacji atmosferycznej według Lityńskiego z wynikami klasyfikacji przeprowadzonej na podstawie tych samych materiałów wyjściowych (reanaliz NCEP/NCAR), ale w wykorzystaniem granic klas zaproponowanych przez Pianko-Kluczyńską (2007). Podstawą do tego porównania jest okres 1971–2015. W drugiej części pracy wstępnie zasygnalizowano także możliwość zmiany okresu, na podstawie którego obliczane są granice klas wskaźników cyrkulacji.

Materiały i metody

Kalendarz typów cyrkulacji z lat 1971–2015 przygotowywany na podstawie danych z reanaliz NCEP/NCAR i wykorzystujący oryginalne granice klas został połączony z IMGW. W dalszej części pracy będzie on nazywany „starą” klasyfikacją. Typy cyrkulacji wyznaczone przy użyciu „starej” klasyfikacji zostały porównane z typami wyznaczonymi przy użyciu „nowej” klasyfikacji, opartej na granicach klas zaproponowanych przez Pianko-Kluczyńską (Pianko-Kluczyńska 2007; Philipp i in. 2010). Do opracowania „nowego” kalendarza typów cyrkulacji wykorzystano dane z reanalizy meteorologicznej NCEP/NCAR, która obejmuje okres od roku 1948 i jest na bieżąco uzupełniana. Na podstawie danych o ciśnieniu z godziny 1200 UTC, dla każdego dnia wyznaczono typ cyrkulacji atmosferycznej. Typy te były wyznaczane na podstawie wartości trzech wskaźników – W_s , W_p i C_p .

Wskaźnik cyrkulacji strefowej W_s wyznaczono ze wzoru na uśrednioną składową równoleżnikową wiatru geostroficznego (Lityński 1969):

$$W_s = 6,1 \frac{P_{40} - P_{65}}{25}$$

gdzie: P_{40} , P_{65} – średnie ciśnienie na odcinkach równoleżników 40°N i 65°N , liczone z krokiem 5° , w strefie 0° – 35°E . Tak zdefiniowany wskaźnik W_s przyjmuje wartości dodatnie dla cyrkulacji zachodniej, a ujemne dla wschodniej.

Wskaźnik cyrkulacji południkowej W_p wyznaczono ze wzoru na uśrednioną składową południkową wiatru geostroficznego:

$$W_p = 10,0 \frac{P_{35} - P_0}{35}$$

gdzie: P_{35} , P_0 – średnie ciśnienie na odcinkach południków 35°E i 0° , liczone z krokiem 5° , w strefie 40° – 65°N . Wartości dodatnie wskaźnika przyjmowane są dla cyrkulacji południowej, a ujemne – dla północnej.

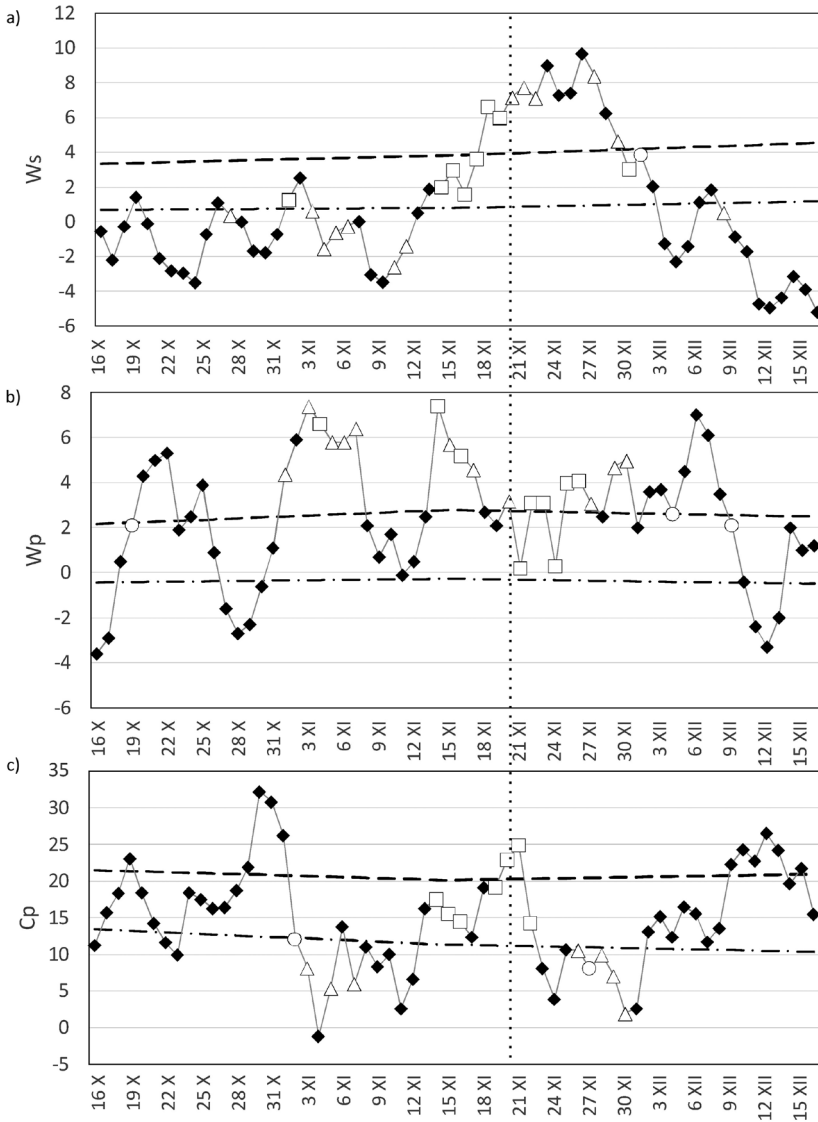
Wskaźnik C_p z kolei informuje, czy nad Polską mamy do czynienia z cyklonem, antycyklonem, czy z cyrkulacją „zerową”, i jest określany przez ciśnienie w węźle najbliższym Warszawie (52,5°N, 20°E), pomniejszone o 1000 hPa.

Granice klas zostały wyliczone zgodnie z metodą zaproponowaną przez Pianko-Kluczyńską (Pianko-Kluczyńska 2007; Philipp i in. 2010). Dla każdego wskaźnika i wszystkich miesięcy z całego dostępnego okresu, wyznaczono jego średnią \bar{X} oraz odchylenie standardowe σ . Średnie i odchylenia standardowe są zliczane w każdym roku z coraz dłuższego okresu – przykładowo, średnia w styczniu 1948 zliczana jest z 31 wartości dobowych, natomiast średnia w styczniu 2003 z 1736 wartości dobowych (ze wszystkich 56 styczni w okresie od 1948 do 2003 r.). Na podstawie tak wyliczonych wartości \bar{X} oraz σ określono granice klas i przypisano je do środkowego dnia każdego miesiąca (odpowiednio 16. dzień dla miesięcy 31-dniowych, 15. dzień dla miesięcy 30-dniowych i 14. dzień dla lutego). W ten sposób dolna granica wynosi: $X_d = \bar{X} - 0,433\sigma$, a górna granica: $X_g = \bar{X} + 0,433\sigma$. Dla dni znajdujących się między środkami dwóch sąsiadujących miesięcy zastosowano interpolację liniową. Ze względu na zliczanie wartości \bar{X} oraz σ w każdym roku z coraz dłuższego okresu tak przygotowany katalog typów cyrkulacji powinien być wykorzystywany dopiero po pewnym okresie, w czasie którego początkowe duże wahania granic klas się ustakują. Dlatego w niniejszym opracowaniu do porównania wzięto katalog typów od 1971 r. „Nowe” typy cyrkulacji wyznaczono z tego samego okresu co przy „starej” klasyfikacji, tj. 1971–2015.

W drugiej części pracy zasygnalizowano także możliwość zmiany okresu, na podstawie którego obliczane są granice klas wskaźników cyrkulacji. Wprowadzono modyfikację „nowej” klasyfikacji polegającą na tym, że \bar{X} i σ są obliczane w każdym roku nie na podstawie całego dotychczas dostępnego okresu, a jedynie na podstawie danych z ostatnich 30 lat. Tak zmieniona klasyfikacja będzie nazywana „nową zmodyfikowaną” klasyfikacją. W tym przypadku również przygotowano katalog typów cyrkulacji z okresu 1971–2015.

Wyniki

Zgodność procentowa wyników obu klasyfikacji wynosi 78,6%, co oznacza, że taka część typów została tak samo sklasyfikowana w „starej” i „nowej” klasyfikacji. Obie klasyfikacje są przygotowane na podstawie takich samych materiałów źródłowych oraz w odniesieniu do tego samego okresu. Można zatem stwierdzić, że przyczyną różnego sklasyfikowania ponad 21% przypadków jest zastosowanie innych granic klas wskaźników cyrkulacji. Na ryc. 1 pokazany jest okres od 16 października 2009 do 16 grudnia 2009, czyli od środkowego dnia października do środkowego dnia grudnia. Poszczególne punkty przedstawiają wartości danego wskaźnika (W_s , W_p lub C_p)



Ryc. 1. Wartości wskaźników W_s (a), W_p (b) i C_p (c) w okresie 16.10.2009–16.12.2009

Fig. 1. Values of W_s (a), W_p (b) and C_p (c) in the period 16.10.2009–16.12.2009

Objaśnienia: Linie przerywane – górne i dolne granice klas wg „nowej” klasyfikacji. Czarne romby – wartości wskaźników jednako zaklasyfikowane w obu klasyfikacjach; białe kółka – wg „starej” klasyfikacji wartość należy do klasy górnej; białe trójkąty – wg „starej” klasyfikacji wartość należy do klasy środkowej; białe kwadraty – wg „starej” klasyfikacji wartość należy do klasy dolnej. Linia kropkowana – 20.11.2009.

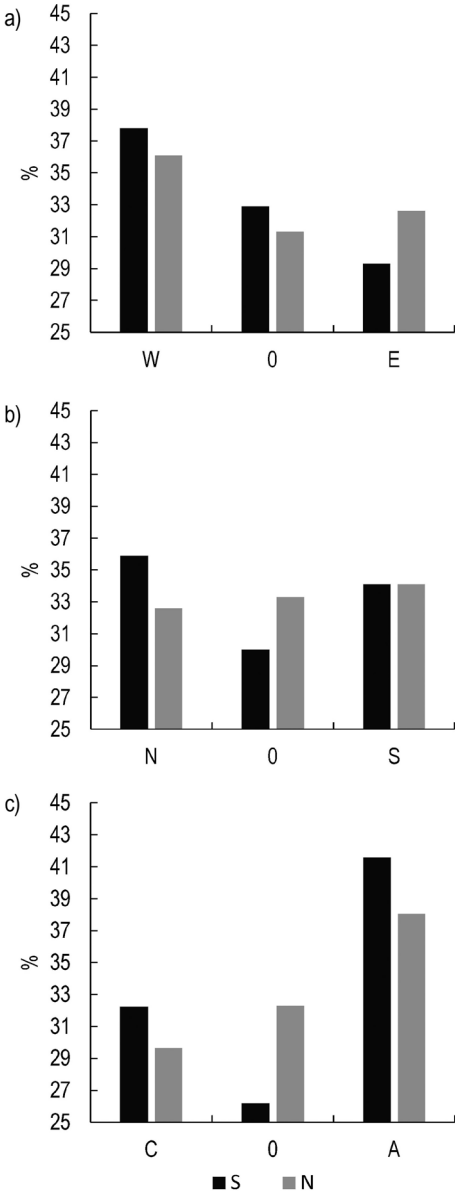
Explanations: Dashed lines – upper and lower limits of the classes according to the “new” classification. Black diamonds – values classified identically in both methods; white circles – in the “old” classification value fits in the upper class; white triangles – in the “old” classification value fits in the middle class; white squares – in the “old” classification value fits in the lower class. Dotted line – 20.11.2009.

w kolejnych dniach. Przerwanymi liniami oznaczone są granice klas według „nowej” klasyfikacji, dlatego punkty znajdujące się powyżej górnej granicy należą do górnej klasy, a punkty leżące poniżej dolnej granicy do dolnej klasy. Czarne punkty wskazują, że w danym dniu oba algorytmy klasyfikujące przyporządkowały daną wartość do tej samej klasy. Białe punkty wskazują te wartości, które zostały inaczej sklasyfikowane przez oba algorytmy. Wyjątkowym pod tym względem dniem był 20 listopada 2009 (oznaczony na ryc. 1 linią kropkowaną), kiedy żaden ze wskaźników nie został przyporządkowany do tej samej klasy. Wartość wskaźnika W_s według „nowej” klasyfikacji należała do górnej klasy, podczas gdy według „starej” klasyfikacji do klasy środkowej. Wartość wskaźnika W_p także należała do górnej klasy, podczas gdy według „starej” klasyfikacji do środkowej klasy, podobnie wartość wskaźnika C_p należała do górnej klasy, natomiast według „starej” klasyfikacji powinna należeć do klasy dolnej. Tego dnia układ izobar nad Europą wskazywał na napływ powietrza z zachodu – nad Islandią umiejscowił się głęboki niż, a nad północnymi Włochami znajdował się ośrodek wysokiego ciśnienia. Ciśnienie w Warszawie wynosiło 1024 hPa (ryc. 3b).

Przyjęcie założenia o podziale rozkładu wartości na równoprawdopodobne klasy powoduje, że częstość występowania każdej z klas powinna być taka sama i wynosić 33,33%. W rzeczywistości jednak częstość występowania poszczególnych klas nie jest identyczna. W „starej” klasyfikacji klasa „zachodnia” występowała zdecydowanie częściej (37,8%) niż klasa „wschodnia” (29,3%) i „zerowa” (32,9%) (ryc. 2a). Podobnie klasa „północna” występowała z częstością dochodzącą do 36%, podczas gdy klasa „południowa” z częstością przekraczającą 34%, a „zerowa” z częstością wynoszącą 30,0% (ryc. 2b). W „nowej” klasyfikacji różnice między częstościami poszczególnych klas zostały znacznie zmniejszone. Różnica między klasą „W” i „E” wyniosła tylko 3,5 pkt procentowego, różnica zaś między klasą „N” i „S” – tylko 1,5 pkt procentowego. Z kolei w klasyfikacji „starej” najrzadziej występowała cyrkulacja „zerowa” (26%), a najczęściej antycyklonalna (prawie 42%) (ryc. 2c). W „nowej” klasyfikacji najrzadziej występowała cyrkulacja cyklonalna, ale różnice częstości pomiędzy rodzajami cyrkulacji są złagodzone – cyrkulacja cyklonalna występowała przez prawie 30% czasu, a antycyklonalna przez 38% czasu. Różnice w częstości występowania poszczególnych klas wskaźników cyrkulacji w obu klasyfikacjach wynikają z faktu, że w „starej” wersji przyjęto oryginalne granice klas zdefiniowane przez Lityńskiego na podstawie danych z lat 1900–1966 – a więc na podstawie okresu innego niż ten, według którego obecnie wylicza się wartości wskaźników. Tymczasem, aby zachować jak najbardziej równe prawdopodobieństwo występowania każdej z trzech klas, ich granice powinny być wyliczane na podstawie tego samego materiału, z którego liczone są wartości wskaźników. Oczywiście w „nowej” klasyfikacji, mimo spełnienia tego warunku, częstość każdej z klas również nie jest jednakowa. Wynika to m.in. z przyjętego sposobu określania granic klas – wyliczone wartości granic

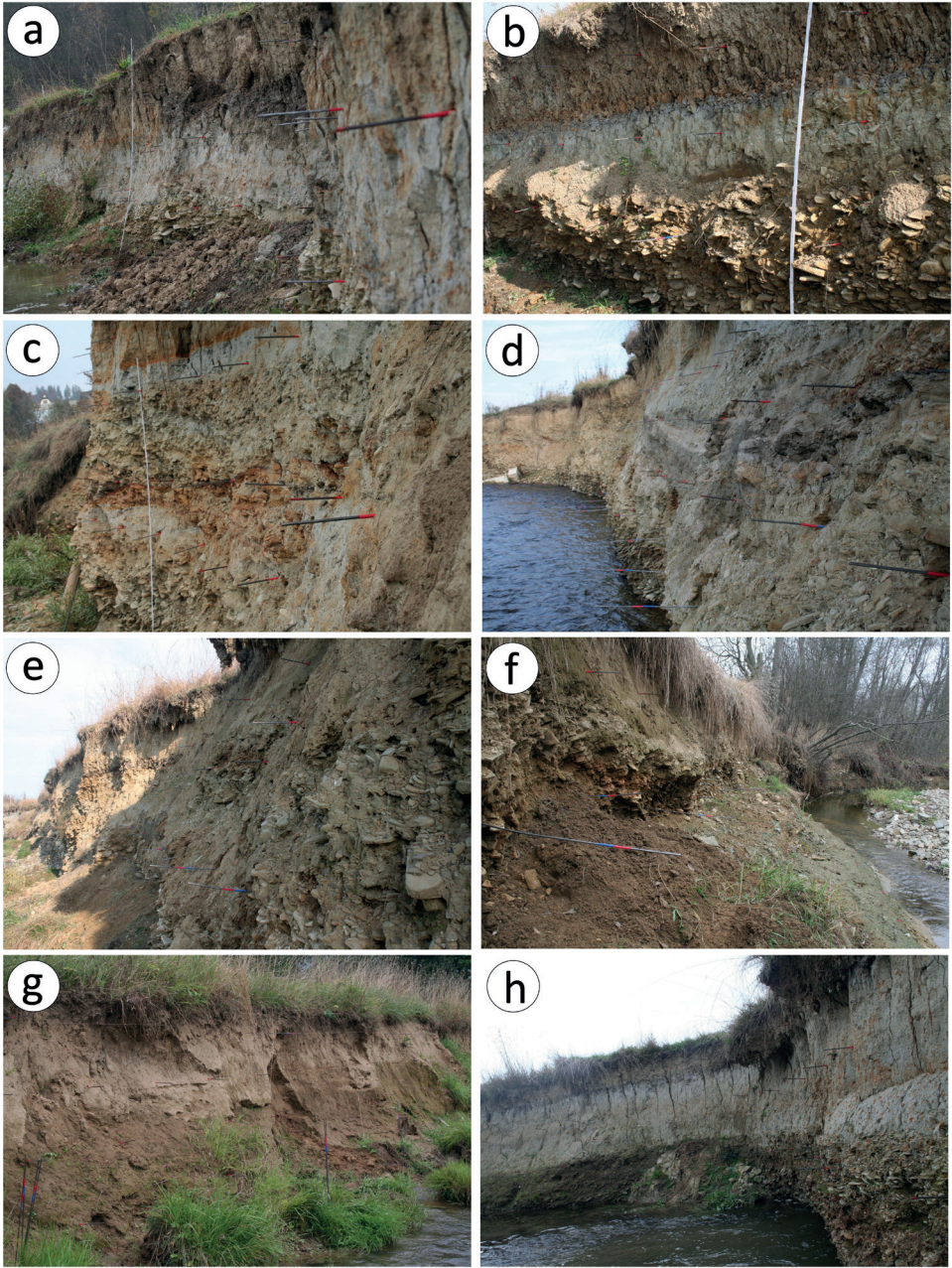
przypisywane są do środkowego dnia miesiąca, a dla dni znajdujących się między środkami dwóch sąsiadujących miesięcy stosuje się interpolację liniową. Zdecydowano się jednak na taki sposób wyliczania granic, aby nie doprowadzić do sytuacji, w której dwa kolejne dni o identycznych parametrach cyrkulacyjnych (identycznych wartościach wszystkich trzech wskaźników), ale należące do sąsiadujących miesięcy, będą zaklasyfikowane do całkowicie różnych typów.

Zmiana okresu, na podstawie którego są wyznaczane granice klas, powoduje zatem, że w danym dniu może zostać wyznaczony zupełnie inny typ cyrkulacji. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do okresów najbardziej współczesnych, gdzie wyznaczone typy cyrkulacji (według klasyfikacji „starej”) często wydają się niezgodne z sytuacją przedstawioną na mapie synoptycznej. Kilka przykładów zostało przedstawionych na ryc. 3. Niektóre, tak jak 27 listopada 2009 r. (ryc. 3c), wydają się szczególnie interesujące, bowiem tego dnia typ cyrkulacji według „starej” klasyfikacji (0A) był całkowicie inny niż wyznaczony według „nowej”



Ryc. 2. Częstość (%) występowania poszczególnych klas wskaźnika W_s (a), W_p (b) i C_p (c) w „starej” (S) i „nowej” (N) klasyfikacji (1971–2015)

Fig. 2. Frequency (%) of the occurrence of individual classes of indicators W_s (a), W_p (b) and C_p (c), in the “old” (S) and “new” (N) classification (1971–2015)



Ryc. 4. Stnowiska pomiarowe

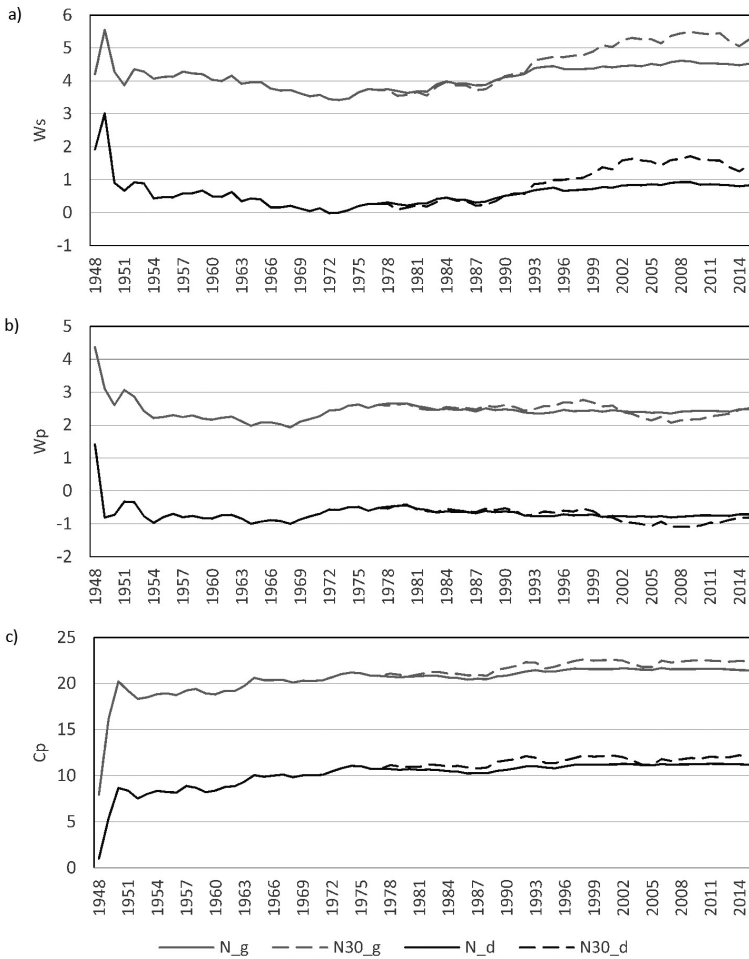
Fig. 4. Study sites

Objaśnienia: stanowisko 1: a) poligon A, b) poligon B; stanowisko 2: c) poligon A, d) poligon B, e) poligon C; f) stanowisko 3; g) stanowisko 4; h) stanowisko 5

Explanations: Site 1: a) plot A, b) plot B; site 2: c) plot A, d) plot B, e) plot C; f) site 3; g) site 4; h) site 5

klasyfikacji (SWC). Ciśnienie w Warszawie wynosiło poniżej 1010 hPa, a układ izobar sugerował napływ mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego. Podobnie było 18 listopada 2009 r. (ryc. 3a), kiedy ciśnienie w Warszawie wynosiło poniżej 1020 hPa, nad Francją zaś umiejscowił się wyż, a nad wschodnią Białorusią znajdowała się zatoka niskiego ciśnienia. „Stara” klasyfikacja wskazywała w tym dniu na typ E0, „nowa” zaś na typ „W0”. Z kolei 23 marca 2015 r. (ryc. 3d) obie klasyfikacje wskazywały na antycyklonalny typ cyrkulacji (ciśnienie w Warszawie wynosiło 1020 hPa), a także zbliżony kierunek napływu mas powietrza – zachodni w przypadku „starej” klasyfikacji, i południowo-zachodni w przypadku „nowej” klasyfikacji. Powyżej zaprezentowano tylko kilka przykładów, lecz należy pamiętać, że ponad 21% dni w okresie 1971–2015 zostało różnie sklasyfikowanych w obu klasyfikacjach. Nie można w prosty sposób wykazać, że niewłaściwe było sklasyfikowanie według „starej” klasyfikacji, jedynie analiza mapy synoptycznej we wszystkich 3521 przypadkach mogła by dać jednoznaczną odpowiedź, ale przykłady zaprezentowane na ryc. 3 dają wyobrażenie o różnicach między tymi dwiema klasyfikacjami.

Wyznaczanie typów cyrkulacji na podstawie „nowych” granic klas jest również obciążone pewnym ryzykiem. Zliczanie w każdym miesiącu średniej \bar{X} oraz odchylenia standardowego σ danego wskaźnika z coraz dłuższego okresu powoduje, że przebieg wartości obliczonych w ten sposób granic na początku jest dosyć przypadkowy, natomiast „spłaszcza” się na końcu długiego okresu. Tymczasem podstawowym okresem referencyjnym w klimatologii, zalecanym przez Światową Organizację Meteorologiczną, jest 30 lat, zatem można podjąć próbę wykorzystania takiego „ruchomego” okresu do obliczania średniej i odchylenia standardowego. Dzięki takiemu zabiegowi w każdym roku uwzględnia się tylko ostatnie 30 lat i bardziej widoczne stają się zmiany wartości granic klas w średnim i długim horyzoncie czasowym. W długim okresie cyrkulacja atmosferyczna ulega bowiem różnorodnym wahaniom. Niektóre formy cyrkulacji nasilają się, a inne słabną. Fluktuacje warunków cyrkulacyjnych, spowodowane zmianami frekwencji układów barycznych, umożliwiają wydzielenie epok cyrkulacyjnych, a więc okresów, kiedy przeważają określone makroformy cyrkulacji. Skracając okres, z którego są zliczane \bar{X} i σ , można wychwycić zmiany tych epok cyrkulacyjnych, a dzięki temu wyznaczone typy cyrkulacji będą miały rozkład bardziej zbliżony do równoprawdopodobnego. Wspomniane „spłaszczanie” wartości w okresie wieloletnim jest dobrze widoczne w przypadku granic klas obliczonych dla środkowego dnia stycznia w latach 1948–2015 (w całym zbiorze danych reanalizy NCEP/NCAR) (ryc. 4). „Nowe” granice klas wskaźnika W_s (ryc. 4a) po początkowym kilkuletnim okresie dużych wahań (spowodowanym zliczaniem \bar{X} i σ z bardzo krótkiego okresu) stabilizują się ok. 1993 r. na poziomie odpowiednio 4,5–4,6 (górną granicą) i 0,8–0,9 (dolną granicą). Granice wyznaczone według „nowej zmodyfikowanej” klasyfikacji, biorącej pod uwagę w każdym roku tylko 30 ostatnich lat przy zliczaniu \bar{X} i σ , do 1978 r. pokrywają się natomiast



Ryc. 4. Przebieg granic klas wskaźników W_s (a), W_p (b) i C_p (c) dla 16 stycznia w latach 1948–2015

Fig. 4. Limits of the classes of indicators W_s (a), W_p (b) and C_p (c) for 16 January in the period 1948–2015

Objasnienia: N_g – górna granica w „nowej” klasyfikacji; $N30_g$ – górna granica w „nowej zmodyfikowanej” klasyfikacji; N_d – dolna granica w „nowej” klasyfikacji; $N30_d$ – dolna granica w „nowej zmodyfikowanej” klasyfikacji.

Explanations: N_g – the upper limit of the “new” classification; $N30_g$ – the upper limit of the “new modified” classification; N_d – the lower limit of the “new” classification; $N30_d$ – the lower limit of the “new modified” classification.

z „nowymi” granicami, a następnie zaczynają się wyraźnie różnić. Od 1993 r. wartości „nowych zmodyfikowanych” granic, zarówno górnej jak i dolnej, wzrastają aż do poziomu 5,4–5,5 (górną granicą) i 1,6–1,7 (dolną granicą), a po roku 2009 zaczynają spadać. W przypadku wskaźnika W_p (ryc. 4b) „nowa zmodyfikowana” klasyfikacja pokazuje wyraźne oscylacje wartości granic klas od 1993 roku wokół wartości granic wyznaczonych w „nowej” klasyfikacji – takie zmiany byłyby nie do wychwycenia, gdyby stosować do obliczania granic klas wyłącznie „nową” klasyfikację. „Nowe zmodyfikowane” granice dobrze pokazują zmiany charakteru cyrkulacji w sektorze europejsko-atlantycznym. Do końca lat 60. XX w. wartości granic klas wskaźnika W_s maleją, co jest równoznaczne z osłabieniem przenoszenia zachodniego (Ustrnul 1997, 1998; Degirmendzić i in. 2000). Na początku lat 70. największe wartości osiągają granice klas wskaźnika W_p , sugerując zwiększoną w tym okresie częstość cyrkulacji południowej. Po 1970 r. następuje wzrost wartości granic wskaźnika W_s , co jest związane z rozwojem cyrkulacji zachodniej, który trwa aż do końca XX stulecia (Kozuchowski 1995; Marsz 1999; Ustrnul 2007).

Wyznaczone na podstawie „nowych zmodyfikowanych” granic klas typy cyrkulacji w niektórych przypadkach będą się różnić od typów wyznaczonych według „nowej” klasyfikacji. Zgodność procentowa wyników klasyfikacji „nowej” i „nowej zmodyfikowanej” obliczona na podstawie okresu 1971–2015 wynosi 92,0% (taka część przypadków została tak samo sklasyfikowana w obu klasyfikacjach), natomiast 8% przypadków zostało sklasyfikowanych jako różne typy. Dwie takie sytuacje zaprezentowano na ryc. 3. 18 listopada 2009 (ryc. 3a) nad środkową Francją oraz Chorwacją ulokowały się ośrodki wyżowe (o ciśnieniu w centrum około 1025 hPa). Według „starej” klasyfikacji panował typ E0, według „nowej” – W0, a według klasyfikacji „nowej zmodyfikowanej” typ SW0. Z kolei 23 marca 2015 r. (ryc. 3d) nad Polskę napływały masy powietrza z południowego zachodu, a ciśnienie w Warszawie wynosiło 1020 hPa. „Nowa zmodyfikowana” klasyfikacja wskazała w tym dniu na cyrkulację „zerową”.

Podsumowanie

W opracowaniu zostały porównane wyniki dwóch wariantów klasyfikacji typów cyrkulacji atmosferycznej Lityńskiego: „starej” klasyfikacji – opartej na oryginalnych granicach klas zaproponowanych przez autora pierwotnej klasyfikacji, oraz „nowej” – obliczającej granice klas w sposób zaprezentowany w pracach Pianko-Kluczyńskiej (2007) i Philippa i in. (2010). Trudno oczekiwać, żeby zdefiniowane przez Lityńskiego na podstawie danych z lat 1900–1966 i niedoskonałych materiałów źródłowych granice trzech równoprawdopodobnych klas (dla każdego ze wskaźników – W_s , W_p i C_p) były aktualne również dzisiaj. W latach 1971–2015 w ponad 21% przypadków

„nowa” klasyfikacja różniła się od „starej”, a wyznaczone w „starej” klasyfikacji typy cyrkulacji w niektórych przypadkach wydawały się całkowicie niezgodne z sytuacją synoptyczną panującą nad Europą. Różnice częstości występowania każdej klasy (w odniesieniu do poszczególnych wskaźników cyrkulacji) w „starej” klasyfikacji były dużo większe niż w „nowej”. Zastosowanie „nowych” granic klas spowodowało, że w wytworzonym katalogu typów cyrkulacji podział rozkładu wskaźników W_s , W_p i C_p na trzy klasy jest bardziej zbliżony do równoprawdopodobnego.

Warta uwagi jest klasyfikacja „nowa zmodyfikowana”. Wyznaczone za pomocą tej klasyfikacji „nowe zmodyfikowane” granice klas dobrze pokazują zmiany charakteru cyrkulacji w sektorze europejsko-atlantyckim. Dzięki skróceniu okresu, na podstawie którego są obliczane granice klas, można wychwycić długookresowe zmiany wartości poszczególnych wskaźników cyrkulacyjnych, a dzięki temu podział ich rozkładów na trzy klasy będzie bardzo zbliżony do podziału równoprawdopodobnego. „Nowa zmodyfikowana” klasyfikacja wymaga jednak dalszych badań i szerszej dyskusji w osobnej pracy. Pierwszym nasuwającym się pytaniem jest wykorzystywanie równoprawdopodobnego podziału rozkładu wskaźników cyrkulacji, zaproponowanego przez Lityńskiego (1969) bądź zaproponowanego przez Pianko-Kluczyńską (2007) podziału rozkładu opartego na średniej i odchyleniu standardowym. Porównanie dwóch katalogów typów, wyznaczonych według takich założeń dałoby odpowiedź, które z tych podejść powinno być stosowane. Drugi problem stanowi ustalenie okresu referencyjnego stosowanego do wyznaczania granic. Jedną z metod jest wykorzystany w niniejszej pracy „system kroczący”, gdzie w każdym kolejnym roku okres, z którego wyznacza się granice klas jest coraz dłuższy. Inną metodą jest przyjęcie pewnego ustalonego okresu referencyjnego, tak jak w kalendarzu Nowosada (2017). Niestety dobór takiego okresu jest subiektywny, a wyznaczanie typów cyrkulacji w okresie innym niż ten, według którego obliczono granice klas, powoduje, że klasyfikacja staje się coraz mniej równoprawdopodobna. Trzecią metodą jest ta zaproponowana w „nowej zmodyfikowanej” klasyfikacji – obliczanie granic na podstawie okresu o ustalonej długości, ale przesuwającego się co roku. W Europie takie podejście zastosowano np. w zmodyfikowanej klasyfikacji Grosswettertypen (Beck i in. 2007). Niezbędne jest także przeprowadzenie prób z okresami o innej długości niż 30 lat (zarówno dłuższymi, jak i krótszymi) w celu sprawdzenia, jaka długość „ruchomego okna” spowoduje podział rozkładu wskaźników na klasy o najbardziej zbliżonej częstości występowania.

Literatura

- Bartoszek K., 2017, *The main characteristics of atmospheric circulation over East-Central Europe from 1871 to 2010*, Meteorology and Atmospheric Physics, 129 (2), 113–129.
- Beck C., Jacobeit J., Jones P.D., 2007, *Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in Central Europe since 1780*, International Journal of Climatology, 27, 473–491.
- Degirmendžić J., Kożuchowski K., Wibig J., 2000, *Epoki cyrkulacyjne XX wieku i zmienność typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce*, Przegląd Geofizyczny, 45 (3–4), 221–238.
- Gerstengarbe F.W., Werner P.C., 2005, *Katalog der Großwetterlagen Europas (1881–2004) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky*, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, Potsdam.
- Gerstengarbe F.W., Werner P.C., Rüge U., 1999, *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–1998) nach P. Hess and H. Brezowsky*, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, Potsdam.
- Hess P., Brezowsky H., 1969, *Katalog der Grosswetterlagen Europas*, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 113.
- Kalnay E., Kanamitsu R., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woolen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996, *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*, Bulletin of American Meteorological Society, 77, 437–471.
- Kożuchowski K., 1995, *Głębokie cyklony, antycyklony i cyrkulacja strefowa nad Europą (1900–1990)*, Przegląd Geofizyczny, 40, 231–246.
- Lityński J., 1968, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, praca doktorska UW, Warszawa, maszynopis.
- Lityński J., 1969, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace PIHM, 97, 3–14.
- Marsz A.A., 1999, *Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i na polskim wybrzeżu Bałtyku*, Przegląd Geograficzny, 71 (3), 225–245.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, Kraków.
- Nowosad M., 2004, *Szesty cyrkulacyjne nad Polską 1951–1990*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Sectio B, 59 (5), 83–100.
- Nowosad M., 2017, *Kalendarz wskaźników cyrkulacji i typów cyrkulacji nad Polską według formuły Lityńskiego. Zbiór komputerowy*, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Lublin.
- Osuchowska-Klein B., 1991, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976–1990)*, IMGW, Warszawa.

- Philipp A., Bartholy J., Beck Ch., Ericum M., Esteban P., Fettweis X., Huth R., James P., Jourdain S., Kreienkamp F., Krennert T., Lykoudis S., Michalides S.C., Pianko-Kluczyńska K., Postm P., Rasilla Álvarez D., Schiemann R., Spekat A., Tymvios F.S., 2010, *Cost733cat – A database of weather and circulation type classifications*, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 360–373.
- Pianko-Kluczyńska K., 2007, *Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według J. Lityńskiego*, Wiadomości Meteorologii, Hydrologii, Gospodarki Wodnej, I(LI) (4), 65–85.
- Piotrowski P., 2009, *Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 10, 1–216.
- Stępniewska-Podraźka M., 1991, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej (1951–1990)*, IMGW, Warszawa.
- Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*, Materiały Badawcze IMGW, Meteorologia, 27.
- Ustrnul Z., 1998, *Zmienność temperatury powietrza na wybranych stacjach Europy Środkowej na tle warunków cyrkulacyjnych. Klimat i bioklimat miast*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, 307–318.
- Ustrnul Z., 2007, *Zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej nad Europą w XX wieku*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, 55–63.
- Ustrnul Z., Czekerda D., Wypych A., 2010, *Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications*, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35 (9–12), 429–436.
- Żmudzka E., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951–2000)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

Kinga Kulesza
Uniwersytet Warszawski
Instytut Geografii Fizycznej
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa
kingakulesza@uw.edu.pl